

**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR ATAS BOX GIRDER
PRATEGANG PADA JEMBATAN CINCIN LAMA
PENGHUBUNG LAMONGAN DAN TUBAN**

Guruh Narendra Sukmana¹, Ester Priskasari², Vega Aditama²
¹²³⁾ Jurusan Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang
Email : guruhnarendra3@gmail.com¹

ABSTRACT

The Cincin Lama Bridge that connects Tuban-Lamongan is a former railroad bridge from the Dutch colonial era and has not been operating since the 1980s. Currently, the cincin bridge is used as an alternative route to cross the Bengawan Solo river. The bridge with a length of 200 meters and a width of 9 meters is divided into five segments (spans) each with a length of 40 meters per segment. The one that collapsed yesterday was the third segment in the middle of the river. Therefore, the design of the new Cincin Lama Bridge was designed using a prestressed concrete structure with a segmental box girder section so as to produce a structure that is stronger to withstand the load. In the box girder structure, the number of components to form two lanes is less than steel components, so that during its implementation it can reduce disturbances during the distribution or erection of components.

Keywords : Box Girder, Cincin Lama Bridge, Structure

ABSTRAK

Jembatan Cincin Lama Penghubung Tuban-Lamongan merupakan jembatan bekas rel kereta api peninggalan kolonial Belanda dan sudah tidak beroperasi sejak tahun 1980-an. Saat ini jembatan cincin lama dijadikan jalur alternatif untuk menyeberangi sungai bengawan solo. Jembatan dengan panjang 200 meter dan lebar 9 meter itu terbagi atas lima segmen (bentang) masing masing memiliki panjang 40 meter tiap segmen. Yang ambruk kemarin adalah segmen ketiga yang berada ditengah sungai. Oleh karena itu direncanakan desain Jembatan Cincin Lama yang baru menggunakan struktur beton prategang berpenampang *box girder* segmental sehingga menghasilkan struktur yang lebih kuat menahan beban. Pada struktur box girder, jumlah komponen untuk membentuk dua lajur lebih sedikit dibanding komponen baja, sehingga pada saat pelaksanaannya dapat mempersingkat gangguan selama distribusi atau erection komponen.

Kata Kunci : Box Girder, Jembatan Cincin Lama, Struktur

1. PENDAHULUAN

Jembatan Cincin Lama Penghubung Tuban-Lamongan merupakan jembatan bekas rel kereta api peninggalan kolonial Belanda dan sudah tidak beroperasi sejak tahun 1980-an. Saat ini jembatan cincin lama dijadikan jalur alternatif untuk menyeberangi sungai bengawan solo. Jembatan Cincin memiliki dua sisi. Sisi timur merupakan bangunan baru, sedangkan jembatan sebelah barat adalah jembatan lama yang mulai dibangun pada 1970-an. Bangunan lama dinamakan Jembatan Cincin Lama, sedangkan yang baru disebut Jembatan Cincin Baru.

Jembatan dengan panjang 200 meter dan lebar 9 meter itu terbagi atas lima segmen (bentang). Segmen pertama hingga keempat masing-masing memiliki panjang 40 meter, sedangkan segmen kelima 40 meter. Yang ambruk kemarin adalah segmen ketiga yang berada ditengah sungai. Jembatan cincin lama adalah jembatan kelas A.

Maka dari itu direncanakan desain Jembatan Cincin Lama yang baru akan menggunakan struktur beton prategang berpenampang *box girder* sehingga menghasilkan struktur yang lebih kuat menahan beban. Pada struktur *box girder*, jumlah komponen untuk membentuk dua lajur akan lebih sedikit dibanding komponen baja, sehingga pada saat pelaksanaannya jumlah komponen yang lebih sedikit dapat mempersingkat gangguan selama distribusi atau *erection* komponen.

Tujuan Perencanaan

Adapun tujuan dari Tugas Akhir ini untuk :

1. Merencanakan dimensi dan desain komponen struktur atas dan box girder prategang yang digunakan.
2. Merencanakan jumlah, diameter dan susunan tendon yang dibutuhkan.
3. Merencanakan besar tegangan dan lendutan yang terjadi pada box girder prategang.

Batasan Masalah

Permasalahan dalam penggunaan pracetak sebenarnya cukup banyak yang harus diperhatikan, namun mengingat keterbatasan waktu, perancangan ini mengambil batasan:

1. Hanya merencanakan struktur atas jembatan berupa box girder.
2. Menggunakan box girder prategang sebagai gelagar utama dan tendon VSL.
3. Tidak merencanakan perkerasan dan desain jalan.
4. Tidak meninjau kestabilan profil sungai dan scouring.
5. Mutu beton pratekan $f_c' = 41,5$ MPa; K500 (*Puslitbang Prasarana Transportasi, 2005*).
6. Menggunakan SNI 1725:2016 untuk acuan pembebanan.

7. Menggunakan metode system penegangan pasca-tarik (*Post-Tensioning*)
8. Metode pelaksanaan hanya dibahas secara umum.
9. Analisa struktur menggunakan SAP 2000.

2. LANDASAN TEORI

Jembatan Box Girder

Box girder adalah jenis penampang beton prategang yang mana struktur utamanya berupa balok – balok berbentuk kotak berongga dengan tujuan untuk mendapatkan momen inersia yang tinggi dengan berat sendiri beton yang ringan.

Desain Perancangan Awal

Perencanaan awal meliputi : penentuan bentang jembatan dan pemilihan tampang melintang gelagar. Adapun pedoman dalam pemilihan tampang-tampang meliputi gelagar dari AASHTO – PCI – ASBI SEGMENTAL BOX GIRDER STANDARDS FOR BALANCED CANTILEVER CONSTRUCTION dengan Panjang 30,5 – 45,7 Meter, December 1997.

Pembebanan Pada Struktur Utama Jembatan

Pembebanan yang diterapkan mengacu kepada muatan atau aksi lain yang timbul pada suatu jumebtan berdasarkan acuan SNI 1725-2016. Beban – beban yang bekerja antara lain sebagai berikut :

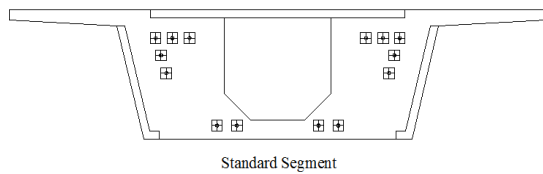
- a. Berat sendiri (MS)
- b. Beban mati tambahan (MA)
- c. Beban lalu lintas
 - Beban lajur “D” sesuai dengan yang terdefiniskan dalam SNI 1725-2016 pasal 8.3 terdiri dari beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT).
- d. Gaya rem (TB)

Faktor Kombinasi Pembebanan

Pada perencanaan jembatan prategang ini menggunakan factor beban pada kondisi beban layan dengan analisis elastis dengan acuan pada SNI 7833-2012 pasal 6.10.

Beton Pratekan

Beton prategang adalah beton yang telah diberikan tegangan – tegangan dalam, dalam jumlah dan distribusi tertentu sehingga dapat menetralsisir sejumlah tertentu tegangan- tegangan yang dihasilkan oleh beban luar.



Gambar 1 Penampang Beton Pratekan Box Girder
Sumber : (Nia Dwi Puspitasari, ST., 2011)

Tegangan ijin

- A. Tegangan Ijin Beton Prategang
Tegangan ijin beton prategang menggunakan peraturan (SNI 2847, 2013) pada pasal 18.4 halaman 35.
- B. Tegangan Ijin Baja Prategang
Tegangan ijin beton prategang menggunakan peraturan (SNI 2847, 2013) pada pasal 18.4 halaman 36.

Kehilangan Tegangan

Tegangan yang terjadi pada tendon beton prategang berkurang secara berlanjut seiring dengan waktu. Total pengurangan tegangan ini disebut kehilangan prategang total. Kehilangan prategang total ini adalah factor utama yang mengganggu perkembangan awal beton prategang. (Bambang Supriyadi; Agus Setyo Muntohari, 2007). Secara umum kehilangan gaya prategang dapat digolongkan menjadi 2 yaitu kehilangan gaya prategang langsung dan kehilangan gaya prategang yang bergantung dengan waktu.

- 1) Tahap pertama, pada saat setelah peralihan gaya prategang ke penampang, tegangan dievaluasi sebagai tolak ukur perilaku elemen struktur. Pada tahap ini kehilangan gaya prategang meliputi :
 - Perpendekan elastis beton (ES)
 - Friksi/Gesekan tendon (FR)
 - Pergeseran ankur (ANC)
- 2) Tahap kedua, pada saat beban bekerja setelah semua gaya prategang terjadi dan tingkayan prategang efektif jangka panjang telah tercapai. Akibat waktu yang lama akan terjadi kehilangan gaya prategang sebagai berikut :
 - Rangkak beton (CR)
 - Susut beton (SH)
 - Relasi baja prategang (RE)

Secara umum kehilangan gaya prategang dapat digolongkan menjadi 2 yaitu :

- a. Kehilangan gaya prategang langsung (*immediate*)
 - Perpendekan elastis beton (ES)
 - Friksi/Gesekan tendon (FR)
 - Pergeseran ankur (ANC)
- b. Kehilangan gaya prategang berdasarkan waktu (*time dependent losses*)
 - Rangkak beton (CR)
 - Susut beton (SH)
 - Relasi baja prategang (RE)

Balok Ujung (End Block)

Pemusatan tegangan tekan yang besar dalam arah longitudinal terjadi di penampang tumpuan pada segmen kecil dimuka ujung balok, baik pada balok pratarik maupun pada balok pasca tarik, akibat dari gaya prategang yang besar. Pada balok pratarik transfer beban yang terpusat dari gaya prategang ke beton di sekitarnya secara gradual terjadi di seluruh panjang l_t ($l_t = \frac{1}{1000} (\frac{f_{pe}}{3}) d_b$) dari muka penampang tumpuan sampai pada dasarnya menjadi seragam. Pada balok pasca-tarik, transfer dan distribusi beban secara gradual tidak mungkin terjadi karena gayanya bekerja secara langsung dimuka ujung balok melalui plat tumpu dan anker. Kadang – kadang luas penampang perlu diperbesar secara gradual di lokasi yang semakin mendekati tumpuan dengan cara membuat lebar badan di tumpuan sama dengan lebar sayap untuk mengakomodasi tendon yang ditinggikan. Namun, peningkatan luas penampang tersebut tidak berkontribusi dalam mencegah retak *spalling* atau *bursting*, dan tidak mempunyai pengaruh pada pengurangan tarik transversal di beton.

Tulangan Non-Prategang (Tulangan Geser)

Tulangan geser merupakan tulangan yang berfungsi untuk mencegah terjadinya retak diagonal pada komponen struktur prategang. Pada dasarnya penulangan geser melakukan empat fungsi utama, yaitu :

1. Penulangan tersebut memikul sebagian gaya geser terfaktor eksternal V_u .
2. Penulangan tersebut membatasi perambatan retak diagonal.
3. Penulangan tersebut menahan posisi batang tulangan utama longitudinal agar dapat memberikan pengekanan terhadap beton didaerah tekan jika sengkang yang digunakan adalah sengkang tertutup.

Lendutan

Lendutan pada jembatan prategang dapat disebabkan oleh :

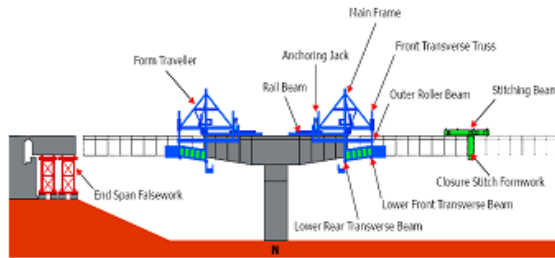
- Lendutan akibat gaya prategang efektif
- Lendutan akibat beban mati
- Lendutan akibat beban hidup

Metode Konstruksi

Konstruksi jembatan box girder dapat dilakukan dengan berbagai macam metode, diantaranya adalah metode balanced cantilever. Metode Balanced Cantilever menggunakan Box Girder yang merupakan balok-balok penopang utama yang berbentuk kotak berongga. Box Girder yang dipakai adalah pengecoran ditempat (*cast in situ*).

Struktur jembatan dibangun pertama kali dengan membangun struktur-struktur kantilever seimbang. Kantilever yang pertama dibuat adalah kantilever

“N”, dan seterusnya dibangun kantilever “N+1”, kantilever “N+2”, kantilever “N+3” dan kantilever “N+i”.



Gambar 2 Ilustrasi Balanced Cantilever dengan Form Traveler Method
Sumber : (Rombach, 2002)

3. METODOLOGI PERENCANAAN

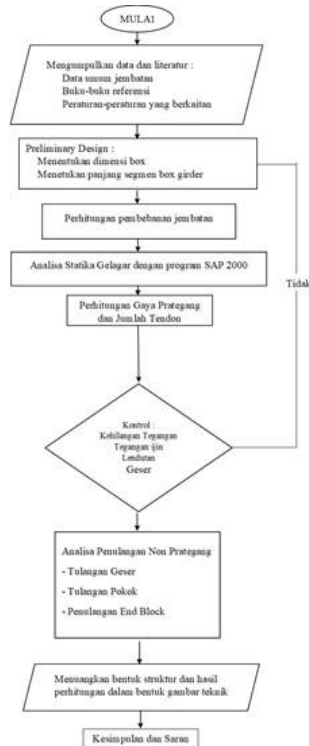
Lokasi

Jembatan Cincin Lama terletak di atas sungai bengawan solo perbatasan antara Babat dan Tuban jalur pintura Jl. Tuban-Babat Kabupaten Tuban, Jawa Timur.

Data umum dan teknis jembatan

1. Nama Jembatan : Jembatan Cincin Lama
2. Tipe Jembatan : Jembatan Rangka Baja
3. Panjang Jembatan : 200 meter
4. Lebar Jembatan : 9 meter
5. Lebar rencana jalan : 1 jalur 2 lajur
6. Gelagar Utama : Box Girder

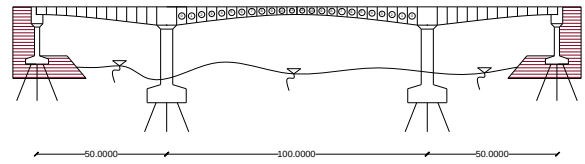
Diagram Alir



Gambar 3 Diagram Alir
Sumber : (Hasil Perencanaan)

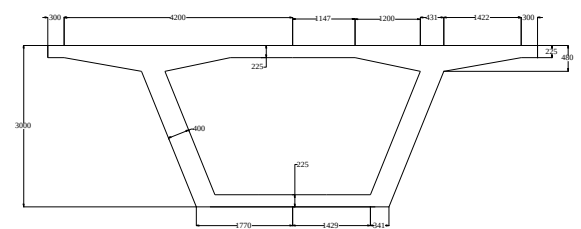
4. ANALISA STRUKTUR UTAMA

Dimensi Penampang Gelagar



Gambar 3 Gambar Rencana

Section Properties



Gambar 4 Section Properties Box Girder

Perhitungan Section Properties

Tabel 1 Perhitungan Section Properties

No	Bentuk	Dimensi		Luas		y _t	A x y _t	y _b	y _a	I	Y	A x Y	Momen Inersia (I _x)	
		b (m)	h (m)	A (m ²)	A ₁ (m ²)								I _x (A x Y ²) (m ⁴)	I _x (A x Y ²) (m ⁴)
1	Persegi	1,722	0,225	0,387	2,888	1,119	1,926	1,074	0,00163	0,962	0,3583	0,35992	0,35992	0,35992
2	Segitiga	1,422	0,255	0,181	2,69	0,488	0,00065	0,764	0,1057	0,00065	0,764	0,1057	0,10638	0,10638
3	Persegi	0,431	0,48	0,207	2,76	0,571	0,00087	0,834	0,1438	0,00087	0,834	0,1438	0,14774	0,14774
4	Segitiga	1,422	0,255	0,181	2,69	0,488	0,00065	0,764	0,1057	0,00065	0,764	0,1057	0,10638	0,10638
5	Persegi	4,694	0,225	1,056	2,888	3,050	0,00446	0,962	0,9766	0,00446	0,962	0,9766	0,98110	0,98110
6	Segitiga	1,422	0,255	0,181	2,69	0,488	0,00065	0,764	0,1057	0,00065	0,764	0,1057	0,10638	0,10638
7	Persegi	0,431	0,48	0,207	2,76	0,571	0,00087	0,834	0,1438	0,00087	0,834	0,1438	0,14774	0,14774
8	Segitiga	1,422	0,255	0,181	2,69	0,488	0,00065	0,764	0,1057	0,00065	0,764	0,1057	0,10638	0,10638
9	Persegi	1,722	0,225	0,387	2,888	1,119	0,00163	0,962	0,3583	0,00163	0,962	0,3583	0,35992	0,35992
10	Persegi	0,431	2,472	1,062	1,373	1,463	0,54255	0,553	0,3263	0,54255	0,553	0,3263	0,86881	0,86881
11	Persegi	0,431	2,472	1,062	1,373	1,463	0,54255	0,553	0,3263	0,54255	0,553	0,3263	0,86881	0,86881
12	Segitiga	0,09	0,225	0,010	0,15	0,002	0,00003	1,776	0,0319	0,00003	1,776	0,0319	0,03198	0,03198
13	Persegi	3,54	0,225	0,797	0,115	0,098	0,00338	1,813	2,6192	0,00338	1,813	2,6192	2,62242	2,62242
14	Segitiga	0,09	0,225	0,010	0,15	0,002	0,00003	1,776	0,0319	0,00003	1,776	0,0319	0,03198	0,03198
Σ				5,918	11,400								6,84603	6,84603

Perhitungan Pembebanan

a. Berat Sendiri

Tabel 2 Berat Sendiri

No	Segmen	A (m ²)	Berat Jem. (kN/m)	Berat Segmen (kN/m)	Berat Traveler Formwork (N)	Faktor Beban	Berat Traveler Formwork x Faktor Beban (N)
1	B1	17,419	25	435,484	500000	1,3	650000
2	B2	16,608	25	411,460	500000	1,3	650000
3	B3	14,592	25	364,807	500000	1,3	650000
4	B4	12,437	25	305,934	500000	1,3	650000
5	B5	11,890	25	297,315	500000	1,3	650000
6	B6	10,446	25	261,345	500000	1,3	650000
7	B7	7,966	25	199,151	500000	1,3	650000
8	B8	7,883	25	192,307	500000	1,3	650000
9	B9	6,487	25	162,198	500000	1,3	650000
10	B10	6,401	25	160,014	500000	1,3	650000
11	B11	6,297	25	157,427	500000	1,3	650000
12	B12	5,810	25	147,961	500000	1,3	650000

b. Beban Mati Tambahan (MA)

Tabel 3 Beban Mati Tambahan

No	Jenis	Lebar (m)	Tinggi (m)	A (m ²)	Berat Jenis (kN/m ³)	Berat (kN/m)
1	Aspal	7	0,05	0,35	22	7,700
2	Air	9	0,05	0,45	10	4,500
3	Trottoir	2	0,2	0,4	24	9,600
4	Tiang Sandaran & Pipa sandaran					0,212
						qMA = 22,012

c. Beban Lajur “D” (TD)

- Beban Terbagi Rata (BTR50)
Q = 50,4 kN/m
- Beban Terbagi Rata (BTR100)
Q = 40,95 kN/m
- Beban Garis Terpusat (BGT50)
P = 480,2 kN
- Beban Garis Terpusat (BGT100)
P = 445,9 kN

d. Gaya Akibat Rem (TB)

Berdasarkan SNI 1725:2016 Pasal 8.7 gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

- 25% dari berat gandar truk desain
 $q_u = 56,25 \text{ kN}$
- 5% dari berat truck rencana ditambah beban BTR
 $q_u = 33,82 \text{ kN}$

Tegangan Ijin

Tegangan Ijin Beton Prategang

Material yang digunakan dalam perencanaan struktur ini adalah beton mutu $f'_c = 41,5 \text{ MPa}$

Kekuatan Tekan Beton :

- Kuat tekan rencana (28 hari): $f'_c = 41,5 \text{ MPa}$
- Kuat tekan beton awal (7 hari) : $f_{ci} = 75\% f'_c$
 $= 31,12 \text{ MPa}$

Modulus elastisitas beton (E_c) :

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \times f_c \\ &= 4700 \times 41,5 \\ &= 30277,632 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

a. Tegangan ijin pada saat transfer :

Tegangan ijin tekan saat transfer :

$$0,6 f_{ci} = 0,6 \times 31,1 = 18,675 \text{ MPa}$$

Tegangan ijin tarik :

$$0,5 f_{ci} = 0,5 \times 31,1 = 2,789 \text{ MPa}$$

b. Tegangan ijin pada saat servis :

Tegangan ijin tekan saat servis :

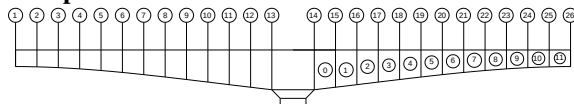
$$0,45 f'_c = 0,45 \times 41,5 = 18,675 \text{ MPa}$$

Tegangan ijin tarik :

$$0,5 f'_c = 0,5 \times 41,5 = 3,221 \text{ MPa}$$

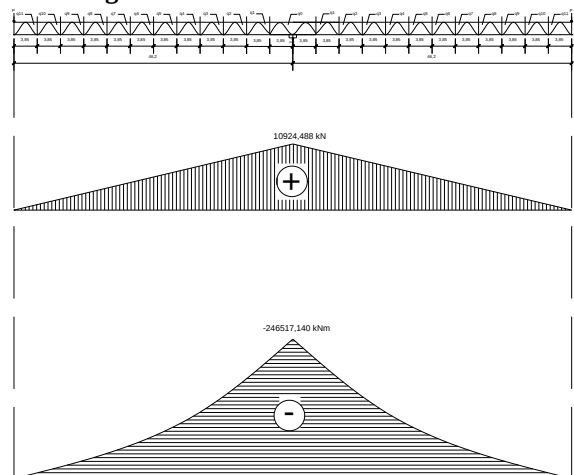
Perencanaan Tendon Prategang

Tahap Kantilever



Gambar 4 Kantilever

Perhitungan Momen



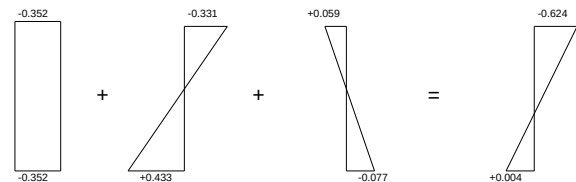
Gambar 5 Hasil Momen dan Lintang Tahap Kantilever

Kontrol tegangan
Serat atas

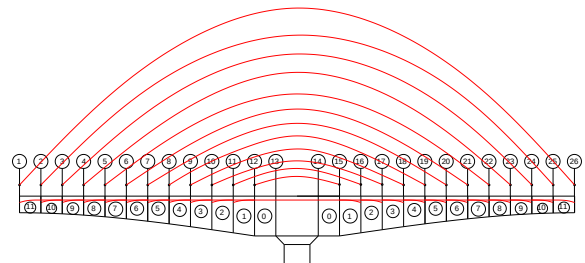
$$\begin{aligned} f_0 &= -\frac{F_0}{A} - \frac{F_0 \times e \times Y_a}{I} + \frac{M_G \times Y_a}{I} \\ &= -\frac{11000000}{16618408} - \frac{11000000 \times 3174 \times 3399}{147200547539752} \\ &\quad + \frac{17469721240 \times 3399}{147200547539752} \\ &= -0.662 - 0.806 + 0.403 \\ &= -1.065 \text{ MPa (Tarik)} < \sigma_{\text{tekan}} \\ &= 18.675 \text{ MPa MEMENUHI} \end{aligned}$$

Serat bawah

$$\begin{aligned} f_0 &= -\frac{F_0}{A} + \frac{F_0 \times e \times Y_b}{I} - \frac{M_G \times Y_b}{I} \\ &= -\frac{11000000}{16618408} + \frac{11000000 \times 3174 \times 4067}{147200547539752} \\ &\quad - \frac{17469721240 \times 4067}{147200547539752} \\ &= -0.662 + 0.965 - 0.483 \\ &= -0.180 \text{ MPa (Tekan)} < \sigma_{\text{tarik}} \\ &= 2.789 \text{ MPa MEMENUHI} \end{aligned}$$



Gambar 6 Tegangan



Gambar 7 Pemasangan Tendon Tiap Segmen

Tahap Menerus

Perhitungan Momen

Tabel 4 Hasil Momen dan Eksentrisitas Tendon Menerus

Segmen	Momen (Nmm)	F (N)	e (mm)
0	-2,114E+10	31000000	3667
1	-7,861E+09	31000000	3391
2	3,508E+09	31000000	3233
3	1,296E+10	31000000	3048
4	2,050E+10	31000000	2781
5	2,613E+10	31000000	2395
6	2,894E+10	31000000	2455
7	2,889E+10	31000000	2237
8	2,694E+10	31000000	2223
9	2,307E+10	31000000	2063
10	1,729E+10	31000000	1934
11	9,599E+09	31000000	1814

Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang

Dalam perencanaan beton pratekan, analisis gaya-gaya efektif dari tendon penting sekali untuk diketahui. Dalam buku T.Y Lin dan Ned H Burns tahun 1988 disebutkan bahwa kehilangan gaya prategang akan terjadi dalam dua tahap dan keduanya akan sangat mempengaruhi hasil akhir gaya-gaya efektif tendon yang akan terjadi.

Tahap pertama, pada saat setelah peralihan gaya prategang ke penampang beton, tegangan dievaluasi sebagai tolak ukur perilaku elemen struktur. Pada tahap ini kehilangan gaya prategang meliputi.

- Perpindahan elastis beton (ES)
- Gesekan Kabel
- Slip Angkur

Tahap kedua, pada saat beban bekerja setelah semua gaya prategang terjadi dan tingkatan prategang efektif jangka panjang telah tercapai. Akibat waktu yang lama akan terjadi kehilangan gaya prategang sebagai berikut :

- Rangkak beton (CR)
- Susut (SH)
- Relaksasi baja (RE)

Kehilangan Gaya Prategang Tahap Pertama Perpendekan Elastis Beton (ES)

- Tahap Kantilever

Tabel 5 Kehilangan Prategang Akibat
Perpendekan Elastis pada Tahap Kantilever

Tendon	e (m)	Fo (N)	ES (MPa)	Kumulatif	Loss %
0	2,898	5500000	0,038	0,868	0,050
1	3,174	5500000	0,035	0,833	0,048
2	2,812	5500000	0,039	0,794	0,046
3	2,512	5500000	0,044	0,750	0,043
4	2,237	6000000	0,054	0,697	0,040
5	2,155	6000000	0,056	0,641	0,037
6	1,725	6000000	0,070	0,572	0,033
7	1,515	6000000	0,079	0,492	0,028
8	1,208	6000000	0,099	0,393	0,023
9	1,062	6500000	0,122	0,271	0,016
10	0,961	6500000	0,135	0,135	0,008
11	0,961	6500000	0,135	0	0,000

- Tahap Servis

Tabel 6 Kehilangan Prategang Akibat
Perpendekan Elastis pada Tahap Servis

Tendon	Fo (N)	ES	Kumulatif	Loss %
0	2325000	0,016	0,377	0,002
1	2325000	0,015	0,363	0,002
2	2325000	0,017	0,346	0,002
3	2325000	0,019	0,327	0,002
4	2325000	0,021	0,307	0,002
5	2325000	0,022	0,285	0,002
6	2325000	0,027	0,258	0,001
7	2325000	0,031	0,227	0,001
8	2325000	0,039	0,189	0,001
9	2325000	0,044	0,145	0,001
10	2325000	0,048	0,097	0,001
11	2325000	0,048	0,048	0,000

Gesekan Kabel

- Tahap Kantilever

Tabel 7 Kehilangan Prategang Akibat Gesekan
Kabel pada Tahap Kantilever

Tendon	L	μ	K	α	- K.L- μ .	Loss (%)
0	3,85	0,2	0,002	0,2793	-0,064	1,064
1	7,7	0,2	0,002	0,3665	-0,089	1,089
2	11,55	0,2	0,002	0,4104	-0,105	1,105
3	15,4	0,2	0,002	0,4712	-0,125	1,125
4	19,25	0,2	0,002	0,5411	-0,147	1,147
5	23,1	0,2	0,002	0,5411	-0,154	1,154
6	26,95	0,2	0,002	0,5934	-0,173	1,173
7	30,8	0,2	0,002	0,6458	-0,191	1,191
8	34,65	0,2	0,002	0,6981	-0,209	1,209
9	38,5	0,2	0,002	0,7505	-0,227	1,227
10	42,35	0,2	0,002	0,7854	-0,242	1,242
11	46,2	0,2	0,002	0,8203	-0,256	1,256

- Tahap Servis

Tabel 8 Kehilangan Prategang Akibat Gesekan
Kabel pada Tahap Servis

Tendon	L	μ	K	α	- K.L- μ .	Loss (%)
0	3,85	0,2	0,002	0,1222	-0,032	1,032
1	7,7	0,2	0,002	0,1222	-0,040	1,040
2	11,55	0,2	0,002	0,1222	-0,048	1,048
3	15,4	0,2	0,002	0,1222	-0,055	1,055
4	19,25	0,2	0,002	0,1222	-0,063	1,063
5	23,1	0,2	0,002	0,1222	-0,071	1,071
6	26,95	0,2	0,002	0,1222	-0,078	1,078
7	30,8	0,2	0,002	0,1222	-0,086	1,086
8	34,65	0,2	0,002	0,1222	-0,094	1,094
9	38,5	0,2	0,002	0,1222	-0,101	1,101
10	42,35	0,2	0,002	0,1222	-0,109	1,109
11	46,2	0,2	0,002	0,1222	-0,117	1,117

Slip Angkur (ANC)

Pada perencanaan tendon post tension kehilangan akibat slip angkur sesuai VSL terbesar yaitu 3%. Jadi untuk kehilangan prategang akibat slip angkur direncanakan 3%

Kehilangan Gaya Prategang Tahap Kedua Rangkak Beton

- Tahap Kantilever

Tabel 9 Kehilangan Prategang Akibat Rangkak
Beton pada Tahap Kantilever

Tendon	Mg Nmm	e mm	f _{cr} N/mm ²	f _{cds} N/mm ²	K _{cr}	f _{cr} - f _{cds}	CR (MPa)	Loss %
0	2,47E+11	2898	10,796	3,797	1,6	6,999	0,740	0,042
1	2,01E+11	3174	12,639	4,339	1,6	8,299	0,877	0,050
2	1,62E+11	2812	12,888	4,189	1,6	8,699	0,919	0,053
3	1,29E+11	2512	13,680	4,239	1,6	9,441	0,998	0,057
4	1,01E+11	2237	13,059	3,959	1,6	9,100	0,962	0,055
5	7,72E+10	2155	14,822	4,545	1,6	10,277	1,086	0,062
6	5,76E+10	1725	14,468	4,059	1,6	10,408	1,100	0,063
7	4,15E+10	1515	12,646	3,432	1,6	9,214	0,974	0,056
8	2,83E+10	1208	11,015	2,676	1,6	8,339	0,881	0,051
9	1,77E+10	1062	8,577	1,849	1,6	6,728	0,711	0,041
10	9,46E+09	961	5,892	1,074	1,6	4,818	0,509	0,029
11	3,60E+09	961	3,446	0,505	1,6	2,940	0,311	0,018

- Tahap Servis

Tabel 10 Kehilangan Prategang Akibat Rangkak
Beton pada Tahap Servis

Tendon	Mg Nmm	e mm	f _{cr} N/mm ²	f _{cds} N/mm ²	K _{cr}	f _{cr} - f _{cds}	CR (MPa)	Loss %
0	-2,1E+10	3667	1,420	-0,412	1,6	1,832	0,194	0,011
1	-7,9E+09	3391	1,263	-0,181	1,6	1,444	0,153	0,009
2	3,51E+09	3233	1,183	0,104	1,6	1,079	0,114	0,007
3	1,30E+10	3048	1,063	0,517	1,6	0,547	0,058	0,003
4	2,05E+10	2781	0,720	1,000	1,6	0,281	0,030	0,002
5	2,61E+10	2395	0,392	1,711	1,6	1,319	0,139	0,008
6	2,89E+10	2455	0,193	2,900	1,6	2,707	0,286	0,016
7	2,89E+10	2237	-0,172	3,528	1,6	3,700	0,391	0,022
8	2,69E+10	2223	-0,185	4,693	1,6	4,878	0,516	0,030
9	2,31E+10	2063	0,102	4,688	1,6	4,586	0,485	0,028
10	1,73E+10	1934	1,351	3,950	1,6	2,600	0,275	0,016
11	9,60E+09	1814	3,190	2,544	1,6	0,646	0,068	0,004

Susut (SH)

- Tahap Kantilever

Tabel 11 Kehilangan Prategang Akibat Susut pada Tahap Kantilever

Tendon	V/S	RH (%)	1 - (0.06xV/S)	100-RH	SH	Loss %
0	9,581	75	0,425	25	10,110	0,580
1	9,140	75	0,452	25	10,739	0,616
2	8,026	75	0,518	25	12,329	0,707
3	6,841	75	0,590	25	14,020	0,804
4	6,541	75	0,608	25	14,447	0,828
5	5,745	75	0,655	25	15,583	0,893
6	4,381	75	0,737	25	17,529	1,005
7	4,231	75	0,746	25	17,743	1,017
8	3,568	75	0,786	25	18,690	1,071
9	3,520	75	0,789	25	18,757	1,075
10	3,463	75	0,792	25	18,838	1,080
11	3,255	75	0,805	25	19,136	1,097

- Tahap Servis

Tabel 12 Kehilangan Prategang Akibat Susut pada Tahap Servis

Tendon	V/S	RH (%)	1 - (0.06xV/S)	100-RH	SH	Loss %
0	9,581	75	0,425	25	10,110	0,580
1	9,140	75	0,452	25	10,739	0,616
2	8,026	75	0,518	25	12,329	0,707
3	6,841	75	0,590	25	14,020	0,804
4	6,541	75	0,608	25	14,447	0,828
5	5,745	75	0,655	25	15,583	0,893
6	4,381	75	0,737	25	17,529	1,005
7	4,231	75	0,746	25	17,743	1,017
8	3,568	75	0,786	25	18,690	1,071
9	3,520	75	0,789	25	18,757	1,075
10	3,463	75	0,792	25	18,838	1,080
11	3,255	75	0,805	25	19,136	1,097

Relaksasi Baja (RE)

- Tahap Kantilever

Tabel 13 Kehilangan Prategang Akibat Relaksasi Baja pada Tahap Kantilever

Tendon	SH MPa	CR MPa	ES MPa	RE MPa	Loss %
0	10,110	0,740	0,038	28,254	1,620
1	10,739	0,877	0,035	30,234	1,733
2	12,329	0,919	0,039	34,481	1,976
3	14,020	0,998	0,044	39,085	2,240
4	14,447	0,962	0,054	40,126	2,300
5	15,583	1,086	0,056	43,400	2,488
6	17,529	1,100	0,070	48,522	2,781
7	17,743	0,974	0,079	48,775	2,796
8	18,690	0,881	0,099	51,044	2,926
9	18,757	0,711	0,122	50,838	2,914
10	18,838	0,509	0,135	50,558	2,898
11	19,136	0,311	0,135	50,816	2,913

- Tahap Servis

Tabel 14 Kehilangan Prategang Akibat Relaksasi Baja pada Tahap Servis

Tendon	SH MPa	CR MPa	ES MPa	RE MPa	Loss %
0	10,110	0,194	0,016	26,780	1,535
1	10,739	0,153	0,015	28,302	1,622
2	12,329	0,114	0,017	32,332	1,853
3	14,020	0,058	0,019	36,580	2,097
4	14,447	0,030	0,021	37,622	2,156
5	15,583	0,139	0,022	40,855	2,342
6	17,529	0,286	0,027	46,299	2,654
7	17,743	0,391	0,031	47,136	2,702
8	18,690	0,516	0,039	49,937	2,862
9	18,757	0,485	0,044	50,046	2,869
10	18,838	0,275	0,048	49,724	2,850
11	19,136	0,068	0,048	49,961	2,864

Perhitungan Kehilangan Prategang Total

- Tahap Kantilever

Tabel 15 Kehilangan Prategang Total Tahap Kantilever

Tendon	ES %	Wooble Effect %	CR %	SH %	RE %	Total %
0	0,050	1,064	0,042	0,580	1,620	3,355
1	0,048	1,089	0,050	0,616	1,733	3,535
2	0,046	1,105	0,053	0,707	1,976	3,887
3	0,043	1,125	0,057	0,804	2,240	4,269
4	0,040	1,147	0,055	0,828	2,300	4,370
5	0,037	1,154	0,062	0,893	2,488	4,634
6	0,033	1,173	0,063	1,005	2,781	5,054
7	0,028	1,191	0,056	1,017	2,796	5,088
8	0,023	1,209	0,051	1,071	2,926	5,279
9	0,016	1,227	0,041	1,075	2,914	5,273
10	0,008	1,242	0,029	1,080	2,898	5,257
11	0,000	1,256	0,018	1,097	2,913	5,284

- Tahap Servis

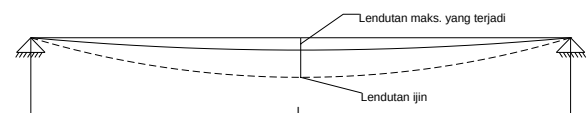
Tabel 16 Kehilangan Prategang Total Tahap Servis

Tendon	ES %	Wooble Effect %	CR %	SH %	RE %	Total %
0	0,002	1,032	0,011	0,580	1,535	3,160
1	0,002	1,040	0,009	0,616	1,622	3,288
2	0,002	1,048	0,007	0,707	1,853	3,616
3	0,002	1,055	0,003	0,804	2,097	3,961
4	0,002	1,063	0,002	0,828	2,156	4,051
5	0,002	1,071	0,008	0,893	2,342	4,315
6	0,001	1,078	0,016	1,005	2,654	4,755
7	0,001	1,086	0,022	1,017	2,702	4,829
8	0,001	1,094	0,030	1,071	2,862	5,058
9	0,001	1,101	0,028	1,075	2,869	5,074
10	0,001	1,109	0,016	1,080	2,850	5,055
11	0,000	1,117	0,004	1,097	2,864	5,082

Kontrol Keamanan

Kontrol lendutan

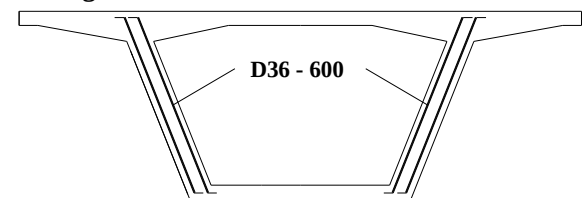
13,877 cm < 41,667 cm
(Memenuhi)



Gambar 8 Kontrol Lendutan yang terjadi terhadap Lendutan Ijin

Penulangan pada Box Girder

Tulangan Geser



Gambar 9 Tulangan Geser pada Segmen Tumpuan

Kontrol tulangan geser

Vs ada > Vs perlu

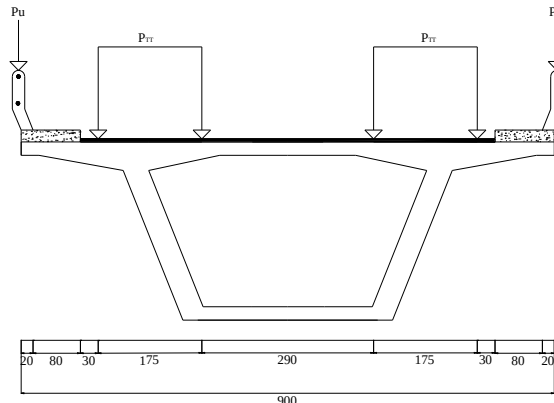
$$\frac{A_v f_y d_p}{s} > V_s$$

$$\frac{4069,440 \times 390,0 \times 2400,0}{5550313,4} > 600$$

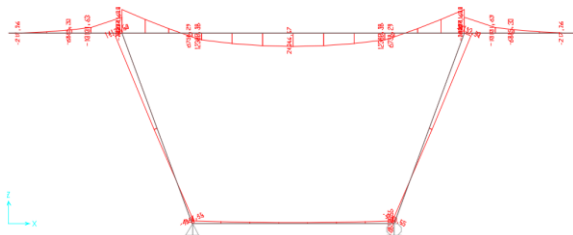
$$6348326,4 > 5550313,4$$

(Memenuhi)

Pembebanan yang terjadi pada penampang



Gambar 10 Penampang Box Girder Kondisi Pembebanan

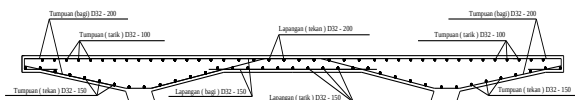


Gambar 11 Output Momen Penampang Box Girder

Penulangan Plat Atas

Tabel 17 Rekapitulasi Penulangan Plat Atas

Daerah Plat Atas	Tulangan	Diameter (D) (mm)	Jarak (mm)
Tumpuan	Pokok (Tekan)	32	150
	Pokok (Tarik)	32	100
	Bagi	32	200
Lapangan	Pokok (Tekan)	32	200
	Pokok (Tarik)	32	150
	Bagi	32	150

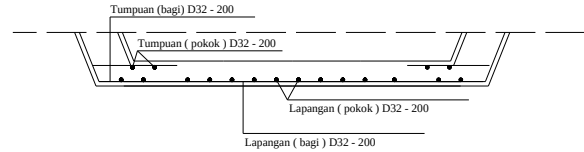


Gambar 12 Penulangan Plat Atas

Penulangan Plat Bawah

Tabel 18 Rekapitulasi Penulangan Plat Bawah

Daerah Plat Bawah	Tulangan	Diameter (D) (mm)	Jarak (mm)
Tumpuan	Pokok	32	200
	Bagi	32	200
Daerah Plat Bawah	Tulangan	Diameter (D) (mm)	Jarak (mm)
Lapangan	Pokok	32	200
	Bagi	32	200

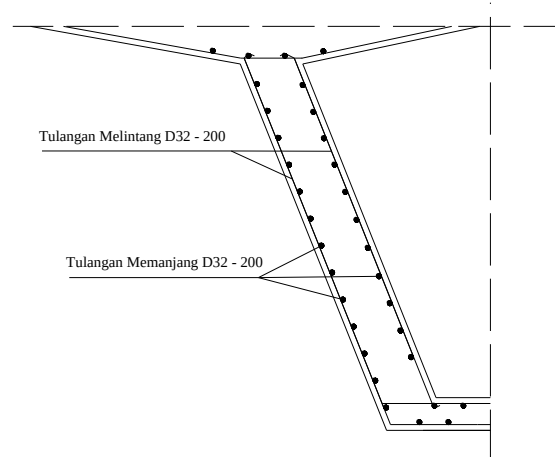


Gambar 13 Penulangan Plat Bawah

Penulangan Plat Web

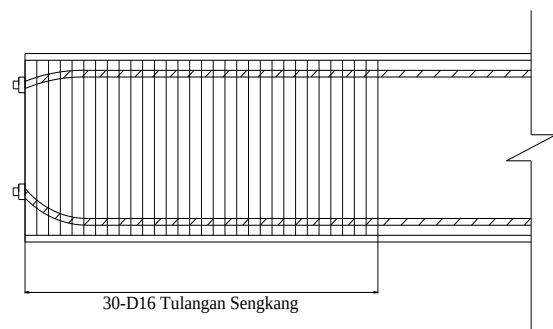
Tabel 19 Rekapitulasi Penulangan Plat Web

Tulangan	Diameter (D) (mm)	Jarak (mm)
Pokok (Memanjang)	32	200
Bagi (Melintang)	32	200



Gambar 14 Penulangan Plat Web

Perencanaan End Block



Gambar 15 Pembesiran End Block

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Jembatan Cincin Lama direncanakan menggunakan single box girder di setiap lajur dengan penampang sebagai berikut

Bangunan atas direncanakan dengan 12 segmen, dengan tinggi box girder di tumpuan 7,19 m dan di tengah bentang 3 m. Dalam perencanaan ini digunakan 12 tendon kantilever dan 7 tendon menerus. Tendon kantilever yang digunakan pada perencanaan ini terdapat tiga jenis ukuran yaitu 22

sc (5500 kN), 24 sc (6000 kN) dan 26 sc (6500 kN). Sedangkan untuk tendon menerus hanya menggunakan satu jenis tendon saja dengan ukuran 31 sc (7750 kN). Untuk penulangan utama flens atas box girder menggunakan D32-200, flens dinding menggunakan D32- 200, flens bawah menggunakan D32-200. Untuk penulangan geser digunakan tulangan D36-600.

Rencana pelaksanaan Jembatan Cincin Lama menggunakan metode Balance Cantilever dengan menggunakan traveler formwork oleh karena metode itu jembatan ini direncanakan dengan 2 perencanaan tendon di struktur atas, yaitu tendon kantilever dan tendon menerus. Tendon Kantilever yaitu tendon yang difungsikan untuk menahan berat sendiri dari segmen box girder saat pelaksanaan. Kemudian setelah jembatan menjadi 1 kesatuan continuous beam dilakukan stressing tendon menerus yang telah dipasang, tendon menerus sendiri berfungsi menahan beban servis saat jembatan digunakan.

Saran

Dalam perencanaan jembatan box girder prestressed ini metode pelaksanaan sangat vital oleh karena saat pelaksanaan harus benar diperhatikan karena apabila ada pemasangan yang kurang tepat akan menimbulkan permasalahan. Untuk dari segi material harus diperhatikan secara detail karena dalam pekerjaan jembatan beton pratekan memerlukan mutu beton maupun mutu baja tinggi maka perhitungan dan pelaksanaan harus benar-benar siap dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- N Krishna Raju. (1981). *Beton Prategang Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.
- Bambang Supriyadi; Agus Setyo Muntohari. (2007). *Jembatan*. Yogyakarta: ISBN.
- Bridge Design Manual. (2011). *3rd Edition, First Release, November 2011*. PCI (Precast/Prestressed Concrete Institute).
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2011). *Perencanaan Struktur Beton Pratekan Untuk Jembatan*. Bandung: BSN.
- Google Earth. (2019). [www.earth.google.com](https://earth.google.com/web/@-7.55902998,110.80828576,98.08640071a,77.284954111d,35y,16.42654392h,17.82498975t,0r). Dipetik Mei 10, 2019, dari <https://earth.google.com/web/@-7.55902998,110.80828576,98.08640071a,77.284954111d,35y,16.42654392h,17.82498975t,0r>
- Nawy, G. E. (2001). *Beton Prategang Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Puslitbang Prasarana Transportasi. (2005). *Pelaksanaan Pekerjaan Beton Untuk Jalan dan Jembatan*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Rombach, P. D.-I. (2002). *Precast Segmental Box Girder Bridges With External Prestressing*. INSA Rennes , 1-15.

SNI 1725. (2016). *Pembebanan Untuk Jembatan*. Jakarta: BSN.

SNI 2847. (2013). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*.

Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).

Sullivan, S. R. (2003). *Behavior of Transverse Joints In Precast Deck Panel Systems*. Thesis .

T. Y. Lin ; H Burns. (1988). *Desain Struktur Beton Prategang Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.

Bagus Purnama, Mahardika (2016). *Modifikasi Perencanaan Jembatan Marmoyo Tol Sumo (Surabaya-Mojokerto) STA.41+400 dengan Konstruksi Box Girder Using Traveler*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Zardi Yudo, Niko (2016). *Perencanaan Alternatif Struktur Jembatan Damas-Trenggalek Menggunakan Box Girder Prestressed Segmental*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.